

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-086555

(43)Date of publication of application : 31.03.1995

(51)Int.Cl.

H01L 27/15

(21)Application number : 05-229869

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 16.09.1993

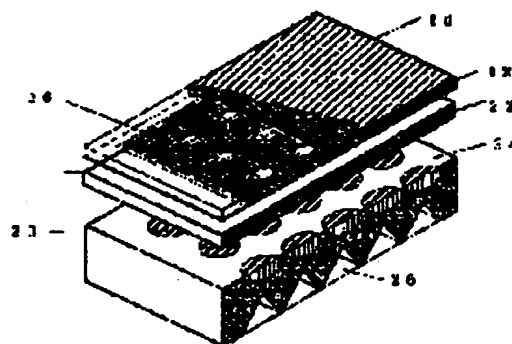
(72)Inventor : KAKIZAKI JUN

## (54) THREE-DIMENSIONAL OPTOELECTRONIC INTEGRATED CIRCUIT

## (57)Abstract:

PURPOSE: To provide an optoelectronic integrated circuit having excellent aligning property and excellent mass productivity for connection in free space.

CONSTITUTION: Active elements 10 (LD, PD, SLM, electronic circuits and the like 16) are formed on the same plane. Passive elements 20 (optical elements having the functions of image formation, wave separation, wave combination and the like) for connecting the active elements and each active element are separately constituted. The passive elements 20 are constituted of at least a lens means 24 for performing image formation and a reflecting means 26, which makes it possible to pass the light ray through the lenses sequentially and to propagate through the active elements. The reflecting means 26 performs the separation of the light path of the light ray and the returning reflection of the light ray. The passive elements 20 are integrated in the flat plate shape. Thus, the image forming characteristic of two points in the conjugate relation on the neighboring image forming planes has the feature wherein the image is upside-down in the direction of the (y) axis and upright in the direction of the (x) axis. Therefore, the optical integrated circuit having the excellent aligning property and the excellent mass productivity can be constituted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-86555

(43) 公開日 平成7年(1995)3月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 27/15

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

T 8832-4M

審査請求 未請求 請求項の数36 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平5-229869

(22) 出願日 平成5年(1993)9月16日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 柿崎 順

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

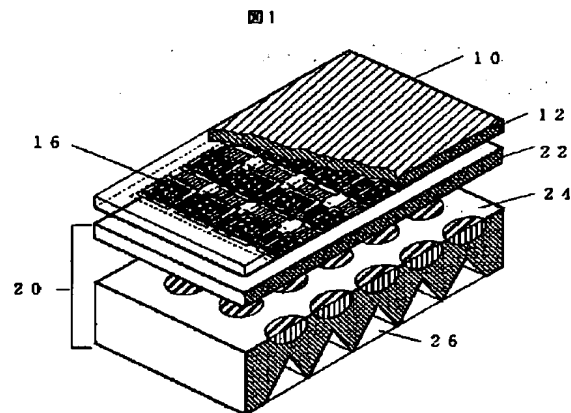
(54) 【発明の名称】 3次元光・電子集積回路

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 自由空間結線を行うための、アライメント性に優れ、かつ、量産性に優れた光・電子集積回路を提供する。

【構成】 能動素子10 (LD、PD、SLM、電子回路等16) が同一平面上に形成され、能動素子と各能動素子を接続する受動素子20 (結像、分波・合波等の機能を持った光学素子) が分離して構成され、受動素子20は、少なくとも、結像作用を行うレンズ手段24と光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段26とから構成され平板型に集積される。

【効果】 隣り合う結像面上の共役関係にある2点の結像特性が、常に、y軸方向には倒立でx軸方向には正立となる特長を持つため、アライメント性に優れ、かつ、量産性に優れた光集積回路を構成できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の能動素子を光の自由空間伝播を利用して光接続する3次元光・電子集積回路において、上記複数の能動素子は同一平面上に形成され、上記複数の能動素子どおしを接続する結像、分波又は合波等の機能を有する受動素子が上記同平面と分離して構成され、上記受動素子は、少なくとも、結像作用を行うレンズ手段と光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段とから構成され、平板型に集積化されることを特徴とする、3次元光・電子集積回路。

【請求項2】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、結像作用を行うレンズ手段の像の倒立作用と光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段の像の左右反転作用とにより、隣り合う結像面上の共役関係にある2点の結像特性が、常に、y軸方向には倒立でx軸方向には正立となる光学配置を特徴とする、3次元光・電子集積回路。

【請求項3】請求項2記載の3次元光・電子集積回路において、結像作用を行うレンズ手段の像の倒立作用と光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段の像の左右反転作用とにより、常に、x軸方向にもy軸方向にも正立結像となる1つ置ききの結像面上の共役関係にある2点のみを光接続対象にすることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項4】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、上記結像作用を行うレンズ手段が上記受動素子表面への凸部形成により達成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項5】請求項4記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子表面への凸部形成方法がモールド加工であることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項6】請求項4記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子表面への凸部形成方法が切削加工であることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項7】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、上記結像作用を行うレンズ手段が上記受動素子基板の表面に、基板より屈折率の高い物質を充填することにより達成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項8】請求項7記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子の表面に対する高屈折率物質充填の方法が、上記受動素子の表面に凹部を形成し、その内部に高屈折率物質埋め込むことにより達成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項9】請求項8記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子の表面の凹部の形成方法が、モールド加工であることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項10】請求項8記載の3次元光・電子集積回路

において、上記受動素子の表面の凹部の形成方法が、エッチング加工であることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項11】請求項8記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子の表面の凹部の形成方法が、レーザ加工であることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項12】請求項8記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子の表面の凹部の形成方法が、切削加工であることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項13】請求項7記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子の表面に対する高屈折率物質充填の方法が、イオン拡散法により達成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項14】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、上記結像作用を行うレンズ手段がロッドレンズアレイにより達成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項15】請求項14記載の3次元光・電子集積回路において、上記ロッドレンズアレイは、ロッドレンズの入る円筒形状の中空部を固定部材に開け、それらにロッドレンズを挿入されてなることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項16】請求項14記載の3次元光・電子集積回路において、上記ロッドレンズアレイの形成方法が、ロッドレンズの入る円筒形状の中空部を固定部材に開け、中空部内に中心ほど屈折率が高く、周辺ほど屈折率の低い物質を成長させ、同心円筒状のロッドレンズを一括形成したことを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項17】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、結像作用を行うレンズ手段がフレネルレンズアレイにより達成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項18】請求項17記載の3次元光・電子集積回路において、フレネルレンズアレイの形成方法が、フレネルレンズ形状の形状転写により、受動素子表面に一括形成することを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項19】請求項17記載の3次元光・電子集積回路において、フレネルレンズアレイの形成方法が、フレネルレンズ形状をフォトリソグラフィにより、受動素子表面に一括形成することを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項20】請求項17記載の3次元光・電子集積回路において、フレネルレンズアレイの形成方法が、フレネルレンズ形状を電子ビーム露光により、受動素子表面に形成することを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項21】請求項17記載の3次元光・電子集積回路において、フレネルレンズアレイの形成方法が、フレネルレンズ形状をイオン打ち込みにより、受動素子表面

に形成することを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項22】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段は、上記受動素子の裏面に形成された、配列ピッチがレンズアレイのピッチと等しく、その頂角をレンズの中心に配置した直角プリズムアレイを有することを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項23】請求項22記載の3次元光・電子集積回路において、上記直角プリズムアレイは、上記受動素子裏面に並列Vカットによる一括切削、及び、並列鏡面研磨、及び、反射コーティングにより形成されていることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項24】請求項22記載の3次元光・電子集積回路において、上記直角プリズムアレイは、上記受動素子裏面にプリズムアレイの形状転写を行うモールド加工によるV字溝列形状形成、及び、雄型による鏡面転写をして形成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項25】請求項22記載の3次元光・電子集積回路において、上記直角プリズムアレイは、プリズムの張り合わせて形成されていることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項26】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段は、上記受動素子の裏面に配置された、配列ピッチがレンズアレイのピッチと等しく、プリズムの中心をレンズの中心に一致しているダイクロイックプリズムアレイ、及び、ダイクロイックプリズムにより分離可能な異なる波長の光波、かつ、波長変換手段を有する能動素子により構成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項27】請求項26記載の3次元光・電子集積回路において、上記ダイクロイックプリズムアレイは、異なる波長の光波を分離させるダイクロイックフィルター層を形成した直角プリズムを張り合わせて形成されたダイクロイックプリズムと、上記ダイクロイックプリズムを張り合わせて形成されたプリズムアレイにより構成されていることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項28】請求項26記載の3次元光・電子集積回路において、上記ダイクロイックプリズムアレイは、断面形状が正方形のブロック材に異なる波長の光波を分離させるよう形成されたダイクロイックフィルター層と、上記受動素子裏面に形成された直角のV字溝列上に配列された上記ブロック材と、上記受動素子裏面に形成された直角のV字溝列と同形状の固定部と上記ブロック材とを、組み合わせて構成されていることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項29】請求項1記載の3次元光・電子集積回路において、光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段は、上記受動素子の裏面に、配列ピッチがレンズアレイのピッチと等しく、プリズムの中心をレンズの中心に一致させて配置した偏光ビームスプリッタープリズムアレイの形成、及び、偏光ビームスプリッタープリズムにより分離可能な偏光が直交した2つの光波の使用、かつ、偏光変換手段を有する能動素子により構成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項30】請求項29記載の3次元光・電子集積回路において、上記偏光ビームスプリッタープリズムアレイは、異なる偏光の光波を分離させる誘電体偏光膜コートを形成した直角プリズムを張り合わせて偏光ビームスプリッタープリズム形成し、さらに、その偏光ビームスプリッタープリズムを張り合わせるにより構成されることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項31】請求項29記載の3次元光・電子集積回路において、上記偏光ビームスプリッタープリズムアレイは、断面形状が正方形のブロック材に形成された異なる偏光の光波を分離させる誘電体偏光膜コートを有し、上記ブロック材を上記受動素子裏面に形成された直角のV字溝列上に配列し、上記V字溝列と同形状の固定部と、上記V字溝列とを、組み合わせることにより構成されていることを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項32】請求項2記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子が複数存在する場合に受動素子のx軸方向に平行な1つの側面を基準としその側面をアライメントして、上記受動素子を一体化したことを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項33】請求項32記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子同志の1つの側面をアライメントするために、キー溝を用いて一体化したことを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項34】請求項2記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子、及び、上記能動素子のx軸方向に平行な1つの側面を基準にして、上記受動素子及び上記能動素子を一体化したことを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項35】請求項34記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子に1側面に高精度に平行なストッパを形成し、これを用いて上記受動素子及び上記能動素子を一体化したことを特徴とする3次元光・電子集積回路。

【請求項36】請求項34記載の3次元光・電子集積回路において、上記受動素子に1側面に形成された平行、及び、垂直な2つのストッパを用いて上記受動素子及び上記能動素子を一体化したことを特徴とする3次元光・電子集積回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 コンピュータ、交換器、ニューラルネットワーク等の情報処理装置の光配線に係り、特に、高速かつ、大容量な自由空間伝播による光配線を実現する光・電子集積回路に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、コンピュータ、デジタル交換器等をはじめとする様々な情報処理装置の処理能力の向上はめざましいものがある。これを可能にしたのは、半導体集積化技術の進歩による実装密度の向上によるものが大きい。なぜなら、すべての信号は有限の速度で伝達するため、その伝送距離を短くすること、すなわち、実装密度の向上が処理速度に大きく影響を及ぼすからである。

【0003】 こうした半導体集積化技術の成熟によってもたらされた回路の大規模化はチップ内の配線数やチップからの出力ピン数を増大させ、さらには、基板内の配線数を増大させ、ひいては、基板間、装置間の配線数を増大させており、各階層において、結線数の増大を引き起こしている。また、実装の高密度化に伴う信号相互の干渉によるクロストークの問題や装置の高速化にともない配線長の違いによるクロックスキュー、信号の伝播遅延、線路のインピーダンス整合、線路の帯域不足等の問題が深刻になっている。

【0004】 このようなコミュニケーション・ボトルネックを解決する手段として、信号相互の無誘導性、対電磁障害性、結線線路の広帯域性、信号伝達の高速度、アース不要性等の特長を有する光配線技術がある。光配線の方法は導波路型の結線と自由空間型の結線に大別される。導波路型の結線は、2次元平面内に導波路を形成し、能動素子(半導体レーザ、フォトダイオード、空間光変調素子等)を光接続するものである(詳しくは特開昭57-15465、特開昭59-75656、特開昭60-169167、特開昭61-156871、特開昭61-253862、特開昭62-181467、「オブティカル インターコネクションズ フォー マシプリィ パラレル アーキテクト」(アブライドオブティクス ボリューム29 ナンバー8、第1077頁~第1093頁、1990年3月10日/「Optical interconnections for massively parallel architecture」Applied Optics, vol.29 No.8 pp.1077-1093(1990)、参照)。

【0005】 一方、光は媒質のない自由空間中を伝搬可能であり、この特徴を利用した大容量な自由空間光接続法が提案されている。自由空間接続は3次元空間を利用した立体的配線が可能で、線路が2次元面内に拘束される電気配線や導波路結線に比べ、格段の配線数の増加が期待できる。自由空間接続は、2次元能動素子(半導体レーザアレイ、フォトダイオードアレイ、空間光変調素子アレイ、駆動回路等)を受動素子(結像、分波・合波

等の機能を持った光学素子)により光接続するものである(詳しくは、「オブティカル インターコネクションズ フォー VLSI システム」(プロシーディングス オブ ザ アイイーイーイー ボリューム72 ナンバー7、1984年7月/「Optical Interconnections for VLSI System」PROCEEDINGS THE IEEE, VOL.72, NO.7, JULY (1984), pp.850-866(1984)),「面発光半導体レーザ」(応用物理、第60巻第1号、pp.361-367(1987)),「クロスオーバー ネットワークス アンド ゼア オブティカル インプリメンテーション」(アブライド オプティクス ボリューム27 ナンバー15、1988年8月1日/「Crossover networks and their optical implementation」Applied Optics vol.27 No.15 1 August 1988 pp.3155-3160)、特開昭61-212059、特表昭61-500941)。

【0006】 自由空間結線の最大の問題はアライメントであり、3次元空間の結線の自由度は、アライメントにも3次元の自由度を与えるため、従来の精密光学系に見られるようなバルク素子のアセンブリ方式では安定したアライメントを得ることが難しく、量産性が悪い。自由空間接続では、能動素子と受動素子を高精度にアライメントして一体化する必要がある、アライメント性の優れた集積化光学素子が必要になる。このような光学部品や電子部品を集積化する従来技術には、図22に示するような2次元アレイ構造をもつ透過型平板光コンポーネント(面発光レーザアレイ、平板マイクロレンズアレイ、セルフフォーカスレンズ、受光素子アレイ等)を積層して所望の光回路を構成する積層光集積回路(Staged Planar Optics)や平板上にLSIのパターンニング技術で光学素子を形成する平板光集積回路(Planar Optics)等がある(例えば、特願昭59-196047、「スタックド プラナーオブティクス: アン アプリケーション オブ ゼア プラナー マイクロレンズ」(アブライドオブティクス ボリューム21 ナンバー19、1982年10月1日/「Stacked planar optics: an application of the planar microlens」Applied Optics vol.21 No.19 1 October (1982) p.3456),「インテグレイティド オブティカル イメージングシステム」(アブライド オプティクス ボリューム29 ナンバー14、1990年5月10日/「Integrated optical imaging System」Applied Optics, vol.29, No.14, p.1998 (10 May1990)))。

【0007】 図23に平板光集積回路の概念図を示す。平板光集積回路は上下方向に導波構造を持ち水平方向に自由空間構造を持つ光学系で、左端の入力面に置かれた二次元パターンは上下方向の全反射を繰り返しながら、平面上の2つの反射レンズにより、4f配置で結像される。通常の4f結像系を内部反射により厚い導波路内に組み込んだものである。作製はゾーンプレート状の回折光学素子を電子ビーム露光により書き込むことで行われ、各素子のアライメントの位置決め制度をLSIのパ

ターンニング制度で保証できる。

【0008】また、図24に示すように、平板基板をいくつ重ね合わせて、反射型素子をコンパクトに集積化する積層反射型集積回路等がある(第39回応用物理学会春季講演予稿集30, P-B-9, P844)。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】前述の平板光集積回路は能動素子、及び、光学素子を同一平面上にLSIのターンニングで回折光学素子を形成するため、各素子のアライメントの問題を解決できる。しかし、各光学素子に光が斜に入射するため軸外結像の光学系であり、収差の問題が生じる。したがって、軸外結像に関する収差を考慮したレンズ設計が必要になる(「デフラクショナルリミテッド ブレイズド リフレクションデフラクティブ マイクロレンズ フォー オプリーク インシデンス ファブリケイテッド バイ エレクトロンビーム リソグラフィ」(アプライド オプティクス ポリウム30 ナンバー25 1991年9月2日/「Diffraction-limited blazed reflection diffractive microlenses for oblique incidence fabricated by electron-beam lithography」Applied Optics, vol.30, No.25, p.3643(1991)))。また、回折型の素子では波長により異なる角度で回折するため、色収差があり単一波長の光しか使えない。最近では、色収差を除くため回折光学素子を反射型光学素子に変える提案もなされている。(第39回応用物理学会春季講演予稿集, 30p-B-8, p.844) また、通常の回折素子の光の利用効率は低く、位相型にするなどの工夫が必要となる。積層反射型集積回路も同様である。この平板光集積回路は同一平面上に能動素子と光学素子を形成するため、能動素子の実装密度を妨げることになる。

【0010】本発明の一つの目的は、自由空間結線を行うための、アライメント性に優れ、かつ、量産性に優れた光集積回路を提供することにある。

【0011】本発明の更に他の目的は、収差が少なく、かつ、設計の容易な光集積回路を提供することにある。

【0012】本発明の更に他の目的は、アライメントの容易性を保ったまま、能動素子の実装密度高い光集積回路を提供することにある。

【0013】本発明の更に他の目的は、光の利用効率の高い光集積回路を提供することにある。

【0014】本発明の更に他の目的は、すべての結線において、光路長が等しく信号のスキューのない光集積回路を提供することにある。

【0015】本発明の更に他の目的は、量産性に優れた光集積回路の製造方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、能動素子と受動素子を分離した構成を取り、能動素子は半導体技術により作製することで各素子の位置決め

をそのターンニング精度で保証し、受動素子は加工処理により各素子の位置決めをその加工処理精度で保証し、能動素子と受動素子のアライメントを反射による虚像の上下、左右等の反転効果と結像関係の倒立等の効果を利用した能動素子と受動素子の相対的位置ずれに強い光学系を集積化することで容易にしたものである。

【0017】また、上記他の目的を達成するために、光線の折り返し反射層にプリズム加工を施し結像素子に斜入射することなく近軸結像の光学系を構成することで、収差を少なくおさえ、また、光学素子に屈折率型の素子を採用することで色収差にも容易に対応できるようにして、設計を容易にしたものである。また、屈折率型の素子であるので光の利用効率も高い。

【0018】また、上記他の目的を達成するために、能動素子と受動素子を分離した構成を取り、能動素子の実装密度を妨げることのないようにしたものである。

【0019】また、上記他の目的を達成するために、すべての結線は共役の関係にすることで光路長を等しくさせ、信号のスキューなくしたものである。

【0020】また、上記他の目的を達成するために、能動素子は、半導体集積化技術を用いて製造し、受動素子もモールド、切削等の一括加工処理やリソグラフィ、イオン打ち込み、電子ビーム露光等の半導体製造技術を利用して製造し、量産性、加工精度を高くしたものである。

【0021】

【作用】本発明は、図1に示すように、2次元能動素子10(基板12、半導体レーザアレイ、フォトダイオードアレイ、空間光変調素子アレイ、駆動回路等16)と各能動素子を接続する受動素子20(結像、分波・合波等の機能を持った光学素子)から構成され、受動素子20は、少なくとも、結像作用を行うレンズ手段24と、光線の光路分離、及び、折り返し反射を行うプリズム等により構成される再帰反射手段26から構成される。

【0022】レンズは光源からの光をコリメート、及び、集光の機能があり、複数個用いることにより結像作用を持つ。また、プリズムはレンズを通過した光の光路を分離するための機能と能動素子の置かれた面に光線を折り返し、別のレンズへと入射させる機能を持つ。それによって、光線はレンズを順次通過して、各能動素子間を伝播していくことが可能となる。さらに、レンズは像の倒立作用を持ち、プリズムによる光線の反射は像の上下、左右等の反転作用を持つので、これらを組合せて、常に、正立像を得る光学配置を実現できる。したがって、能動素子と受動素子が相対的に位置ずれをおこした場合でも、所望の能動素子同志を結線することが可能となる。

【0023】また、プリズムによる光線の折り返しにより、光線はレンズに対してほぼ垂直に入射する近軸結像の関係になるので、収差が少なく設計が容易になる。ま

た、屈折率型のレンズを用いることで、屈折率の異なる二つの媒体の組合せによる色収差補正も可能になる。さらに、回折型素子に比べ光の利用効率も高い。

【0024】また、同じ結像系内の能動素子は共役の関係で結線されているので、その光路長が等しく、それによって、スキューのない伝送が可能となる。

【0025】また、本発明では、能動素子がすべて、平面上に形成されているので、熱の放熱性も高く、また、能動素子の実装密度も上げることができる。

【0026】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。図1は本発明の概念図を表している。2次元能動素子10（半導体レーザアレイ、フォトダイオードアレイ、空間光変調素子アレイ、駆動回路等）と各能動素子を接続する受動素子20（結像、分波・合波等の機能を持った光学素子）から構成され、受動素子20は、少なくとも、結像作用を行うレンズ手段24と光線の光路分離、及び、折り返し反射を行うプリズム手段26から構成される。

【0027】まず、本発明で集積化される光学系の原理を詳しく説明する。本発明の1実施例の光集積回路は同一平面上に並ぶ能動素子間の結線が行えるように、図2に示すレンズの4f配置の光学系を光線の折り返し反射を行う再帰反射手段を用いて集積化したものである。レンズの4f配置では二つのレンズの焦点距離が等しい場合には、物体面にある物体O0O1を等倍率で像面上にその等立像O0'、O1'を結ぶ性質がある。また、物体面と像面は共に共役の関係にあり、すべての光線の光路長は等しいという特徴があり、共役の関係にある配線では信号のスキューは起こらない。

【0028】また、再帰反射手段はプリズム等により実現される。プリズムはいくつかの平面鏡を組み合わせて固定し、その相互関係が崩れないようにした素子であり、平面鏡は光線の向きを変え、像の向きを変える働きを持つ。図3は代表的なプリズムである直角プリズムの通過光線の経路、及び、像の向きの変化を示している。図3(a)では入射実像60より発せられる光線がプリズム50に入射し折り返され反射されると、射出側では虚像70が得られる。虚像70は実像60に対してy方向には正立像で、x方向には倒立像となる。また、図3(b)に示すように、射出側で実像を得るために結像系を挿入すると、レンズの倒立作用により実像100は実像90に対してy方向には倒立像で、x方向には正立像となる。このようにプリズムを用いることで、光学系をコンパクトにまとめることができる。

【0029】つぎに、図3(b)の光学系の光線の光路の展開図を図4に示す。図4は図3(b)の光学系をxz面で切った断面図である。光軸上にある物点O1より出射した光線はレンズ150により光軸に平行な平行光となり平面鏡130、140で反射され、光軸に対して

平行にレンズ160に入射し光軸上O1'に集光される。次に図4(b)に示すように光軸から距離dだけ離れた物点O2より出た光は、レンズ150により光軸に対して角度 $\theta$ 傾いた平行光になり、さらに、光線は平面鏡130、140で反射され、レンズ160に対して角度 $\theta$ 傾いた平行光でレンズ160に入射し、レンズ160の光軸から距離dだけ離れた物点O2'に集光される。したがって、物点O1とO1'間の距離と物点O2とO2'間の距離は等しく、能動素子間の距離が保たれる場合には能動素子が光学系に対してx方向にずれたとしても、その結像関係は保たれる。

【0030】図5は像の結像関係を示している。図5(a)では、出力像180は入力像170に対して、y方向には倒立像で、x方向には正立像となる。図5(b)のように、この入力像170をx軸の負方向にシフトすると、出力像200も同じ距離だけx軸の負方向にシフトする。したがって、この光学系を能動素子同志を結線する受動素子として用いる場合には、能動素子と受動素子の合わせ精度はx軸方向に対しては、高精度を要求されない。しかし、図5(c)のように、この入力像170をy軸の正方向にシフトすると出力像200は同じ距離だけ反対の負方向にシフトする。したがって、y軸方向に対しては、合わせ精度は高精度を要求されることになる。

【0031】また、図4に示す光学系では、物点O1、O2から出た光線はO1'、O2'で反射され、またO1、O2に戻り、これを繰り返す。したがって、レンズ150と160の像面間の結線しか許されず、他の場所の結線を行うことができない。そこで、光線がレンズを順次通過して、各能動素子間を伝播するようにするため、本発明の一実施例では図6に示すプリズムの配置を採用した。プリズムの頂角がレンズの瞳面上にくるように配置し、レンズを通過した光の光路を分離させる。レンズ260の像面上にある物点O1からの光はレンズ260により平行光になりプリズム230により光路が分離される。右側面236で反射された光は次に、プリズム240の左側面で反射され、レンズ260から射出した角度と同じ角度でレンズ270に入射する。したがって、レンズ270の像面上にある物点O2に結像する。物点O2で反射された光は、反射の法則に従い光軸に対して入射角度と等角度で反射されるため、レンズ270を通りプリズム240の右側面で反射されることになる。以下同様に、プリズム250、および、レンズ280により物点O3に達し、レンズを順次通過して、各能動素子間を伝播できる。

【0032】このような順次伝搬可能な光学素子の結像関係を図7に示す。図7は図6の光学系を上方から見た図である。入力面290に入力像320が入力されると、図6に示したレンズ260、270、および、プリズム230、240により、第1射出面300にはy方



向には倒立像、x方向には正立像となる像325が出力される。また、像325はレンズ270、280、および、プリズム240、250により、第2射出面310ではx方向、y方向ともに正立像となる像330が出力される。さて、この入力像が図7(b)の335に示すように、位置がずれた場合には第一射出面上300の像はy方向に位置ずれを起こすが、第2射出面上310では、入力像の位置ずれに同方向に同じだけシフトする。したがって、入力面290と第2出力面310との結線関係が常に一定に保たれることになる。よって、この光学系において、一つ離れた結像面同志を利用する場合には、能動素子と受動素子の合わせ精度はx軸方向、y軸方向に対して、共に、高精度を要求されない。しかし、像の回転に対しては、出力像の回転角は増強されてしまうので、受動素子と能動素子の回転に対する合わせ精度を保証する機構は必要となる。また、上記のような結像特性を示す光学系を達成するためにはプリズムやレンズ等が、高精度に一体化される必要がある。

【0033】図8は本発明の1実施例を示し、また、その製造方法を示す図である。360は能動素子群であり、この面上に面発光レーザ、空間光変調素子、フォトディテクタ、駆動回路、演算回路等が集積化される。これは半導体プロセスを用いて実現される。光素子の多くは化合物半導体で作られており、化合物半導体ですべての能動素子が構成される場合には、能動素子群360をモノリシックに形成でき、半導体のプロセスルールの精度で集積化できる。また、駆動回路、及び、演算回路等の作製は、集積化性、信頼性等が高いシリコン半導体の方が化合物半導体よりも優れている。したがって、シリコン基板状に電子回路はシリコンで、光素子は化合物半導体でモノリシックに形成することが望ましい。シリコン基板上に化合物半導体素子をモノリシックに形成することが困難な場合は、電子回路と光素子をハイブリット形成してもよい。また、この360は同一半導体基板状に集積化されなくても、光素子の集積化された複数のチップを、半導体実装技術を用いてハイブリット実装してもよい。

【0034】380の受動素子群は、ガラス等の透明物質により作製される。380中のレンズ382、384、386、388、390はモールド加工、または、切削加工で形成される。モールド加工では、レンズ形状をした凹型の雄型を用いて透明物質の表面をプレス成型する。モールド加工では雄型を正確に作れば、レンズ群を一括して加工できレンズ同志の光軸整合が高精度で保証でき、また、生産性も高い。

【0035】380中のプリズム392、394、396、398、400は90°の角度を持つV溝で構成されており、歯を複数備えた並列Vカットで一括切削され、その後、研磨し鏡面を作製し、表面に反射率の高い物質、例えば、アルミニウム等を蒸着する。または、V

字溝列形状をした雄型を作製し、モールド加工によりV字溝列形状、及び、鏡面を転写する。

【0036】図9は本発明の他の実施例を示している。本実施例では能動素子360とスペーサ370は図8と同じであるが、受動素子410の製造方法が異なる。

【0037】受動素子410におけるレンズ412、414、416、418、420は、基板材料より高屈折率な物質が充填されることによりレンズとして機能する。一つの作製方法としては、透明基板410の片側に、レンズ形状を成す凹部を形成し、この凹部に基板とは屈折率の異なる透明樹脂材を充填する。充填後、表面を研磨するか、もしくは、スペーサ370を接合することにより平坦性を確保する。また、この凹部の形成は、雄型によるモールド加工、または、エッチング、レーザ加工、切削加工等で行う。

【0038】また、高屈折率部の形成は、イオン拡散法を用いてもよい。イオン拡散法ではガラス基板に金属膜を付け、半導体のパターニング技術により円形窓を作製する。その後、高い屈折率を持つTl、Ag、Pb等のドーバントイオンを含む溶誘塩に付け、ドーバントイオンがマスク窓を通して基板中の低い屈折率のイオンと交換され、マスク開口に近いほど屈折率が高い屈折率分布が得られ、レンズを形成できる。

【0039】図10は本発明の他の実施例を示している。本発明の集積回路の構成は能動素子360は同じであるが、受動素子410の製造方法が異なる。430におけるレンズ432、434、436、438、440は、端面が平面であるためアライメント性に優れたロッドレンズにより構成される。ロッドレンズは円柱形状のレンズで、中心軸から離れるに従い屈折率が減少する。ロッドレンズの入る円筒形状の中空部を、固定部材430に開け、それらにロッドレンズを挿入してレンズアレイを形成する。または、これらの中空部を利用して、直接、中空部内に中心ほど屈折率が高く、周辺ほど屈折率の低い同心円筒状のロッドレンズを一括形成してもよい。このようにロッドレンズを一体化することで各レンズの光軸整合を行うことができる。

【0040】図11は本発明の他の実施例を示している。本発明の集積回路の構成は能動素子360とスペーサ370は同じであるが、受動素子410の製造方法が異なる。410におけるレンズ462、464、466、468、470は、回折型のフレネルレンズにより構成されている。このフレネルレンズは、フレネルレンズアレイの形状を持つ金型を作成し、受動素子460上に一括して形状転写する。または、半導体のパターニング技術を応用して、フォトリソグラフィや電子ビーム露光、イオン打ち込み等により高精度に形成できる。

【0041】図12は本発明の受動素子410のその他の実施例を示している。直角V字面を持つプリズム473、474、475、476、477の側面を、張り合

わせることにより、プリズムアレイ472を形成できる。

【0042】図13は本発明の再帰反射手段の他の実施例を示している。光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段を、ダイクロイックプリズムアレイ510、520、530、により実現している。ダイクロイックプリズムアレイは、受動素子の裏面に、配列ピッチをレンズアレイのピッチと等しく、また、プリズムの中心をレンズの中心に一致させて配置する。ダイクロイックプリズムは異なる波長の光を異なる方向に伝搬させる働きをする。ダイクロイックプリズム510、520、530の面516、523、536は、波長 $\lambda_1$ の光を反射、波長 $\lambda_2$ の光を透過、面513、526、533は、波長 $\lambda_1$ の光を透過、波長 $\lambda_2$ の光を反射するように配置される。光源O1から射出した波長 $\lambda_1$ の光は、面513、526、を透過し面516、523で反射され、O2に結像される。ここで、O2に位置する能動素子で波長 $\lambda_2$ の光に変換すると、O2から射出した波長 $\lambda_2$ の光は面523、536を透過し面526、533で反射されO3に結像される。したがって、ダイクロイックプリズムアレイと波長変換手段を有する能動素子の採用することにより、光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことが可能となる。

【0043】図14に、集積型ダイクロイックプリズムアレイの製造方法を示す。断面形状が直角三角形のプリズム542、544、546、548に異なる波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光波に対して、図13示したように分離させるダイクロイックフィルタ層を形成し、正方形形状に噛み合わせ、ダイクロイックプリズムを作成する。さらに、その側面を張り合わせることでプリズムアレイを固定し形成することができる。

【0044】図15に、集積型ダイクロイックプリズムアレイの一括した製造方法を示す。断面形状が正方形のブロック材550(552、554、556、558)に異なる波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光波に対して、図13示したように分離させるダイクロイックフィルタ層を形成する。そのブロック材を受動素子560の裏面に形成された直角のV字溝列上に噛み合うように配列し、最後に、受動素子裏面に形成された直角のV字溝列と同形状の固定部565を、さらに、噛み合わせることでプリズムアレイを固定し形成することができる。

【0045】図16は本発明の再帰反射手段の他の実施例を示している。光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことを可能とさせる光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段を、偏光ビームスプリッタプリズムアレイ570、580、590、により実現している。偏光ビームスプリッタプリズムアレイは、受動素子の裏面に、配列ピッチをレンズア

レイのピッチと等しく、また、プリズムの中心をレンズの中心に一致させて配置する。偏光ビームスプリッタプリズムは直交した偏光の光を異なる方向に伝搬させる働きをする。偏光ビームスプリッタプリズムアレイ570、580、590、の面576、583、596は、P偏光の光を反射、S偏光の光を透過、面573、586、593は、波長P偏光の光を透過、S偏光の光を反射するようにさせる誘電体偏光膜コートを形成し配置される。光源O1から射出したP偏光の光は、面573、586、を透過し面576、583で反射され、O2に結像される。ここで、O2に位置する能動素子でS偏光の光に変換すると、O2から射出したS偏光の光は面583、596を透過し面586、593で反射されO3に結像される。したがって、偏光ビームスプリッタプリズムアレイと偏光変換手段を有する能動素子の採用することにより、光線がレンズを順次通過して各能動素子間を伝播していくことが可能となる。

【0046】偏光ビームスプリッタプリズムアレイは図14に示したダイクロイックプリズムアレイと同様の製造方法で制作できる。図13の断面形状が直角三角形のプリズム542、544、546、548にP偏光、S偏光の光波に対して、図16示したように分離させる誘電体偏光膜コートを形成する。以下、集積化方法は、ダイクロイックプリズムアレイと同様である。

【0047】偏光ビームスプリッタプリズムアレイは図15に示した集積型ダイクロイックプリズムアレイと同様の製造方法で制作できる。図15の断面形状が正方形のブロック材550(552、554、556、558)にP偏光、S偏光の光波に対して、図16示したように分離させる誘電体偏光膜コートを形成する。以下、集積化方法は、ダイクロイックプリズムアレイと同様である。

【0048】本発明の集積回路では、能動素子の位置関係は半導体プロセスの精度で保証しており、また、受動素子は、上述したモールド加工、エッチング、形状転写、フォトリソグラフィ、電子ビーム露光等の一括して光軸整合を行えるような加工法で形成するので、受動素子の位置関係も高精度に集積化される。

【0049】また、本発明では、図5、図7を用いて詳しく説明したように、結像作用を行うレンズ手段の像の倒立作用と光線の光路分離、及び、折り返し反射を行う再帰反射手段の像の左右反転作用とにより、隣り合う結像面上の共役関係にある2点の結像特性が、常に、y軸方向には倒立でx軸方向には正立となる特長を持つ。したがって、x軸方向の能動素子と受動素子の合わせ精度が高精度を要求されない。また、x軸方向にもy軸方向にも正立結像となる1つ置ききの結像面上に存在する共役関係にある2点のみを光接続対象にした場合には、能動素子と受動素子の合わせ精度がx軸方向にもy軸方向にも高精度を要求されない特長を持つ。しかし、能動素子

と受動素子を合わせる際の回転に対しては、十分な配慮を必要とする。

【0050】したがって、y軸方向が倒立となるため、y軸方向に対して高精度なアライメントを実現すれば、十分である。また、一方向が決まれば、能動素子と受動素子の合わせる際の回転も生じない。

【0051】本発明では、z軸方向のアライメントは素子の厚さで制御しているので、スペーサ等を挿入する場合等がある。したがって、能動素子と受動素子の1方向に対して精密な合わせ精度を得るためには、受動素子が複数存在する場合の受動素子同志のアライメントが必要となる。図17に受動素子同志のアライメント法を示す。y軸方向に対して精密な合わせ精度を得るためには、y軸に垂直な、すなわち、x軸に平行な基準面を作ればよい。これは、図17に示すように、受動素子600、610をアライメントする場合には、x軸方向に平行な1つの側面605、615を基準とし、その面を高精度にアライメントし接着すればよい。

【0052】図18に示すように、正しく、アライメントできるように、x軸方向に平行な1つの側面605、615を基準とした溝を形成して、一体化してもよい。

【0053】次に、受動素子に対する能動素子のアライメント方法について示す。図19では、受動素子と能動素子の側面635、645を基準に、その面を平坦になるように重ねることでアライメントを行っている。

【0054】また、図20では、受動素子に1側面に高精度に平行なストッパ650を形成し、能動素子の基準側面635をこのストッパ650に接して、アライメントを実現する。

【0055】また、本発明では、高精度を要求されるのは一方向だけであるが、もう一方の方向にも適当な精度が必要なので、図21に示すように、二つのストッパ650、670を付けてもよい。図21では、基準面に垂直な溝を形成しストッパを取付けている。このようにすれば、能動素子の周りをすべて囲むことができ、2方向に対して高精度なアライメントを達成できる。

【0056】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように構成されているので、アライメント性に優れ、かつ、量産性に優れた光集積回路を構成できるという効果がある。また、近軸結像の光学系を構成することで、収差を少なくおさえ、また、光学素子に屈折率型の素子を採用すれば色収差にも容易に対応できるという効果がある。また、能動素子を同一平面内に分散して集積化することで、能動素子により発生した熱の放熱性を高くする効果があり、さらに、能動素子と受動素子を分離した構成をとっているため、能動素子の実装密度の高い光集積回路構成できるという効果がある。また、すべての結線は共役関係にあり光路長が等しく、信号のスキューない光集積回路構成できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の概念図を示す図。

【図2】集積化される光学系を示す図。

【図3】直角プリズムを用いた4f光学系の折り畳みとその像を示す図。

【図4】直角プリズムを用いた4f光学系で得られる像のシフト特性を示す図。

【図5】直角プリズムを用いた4f光学系の結像関係を示す図。

【図6】能動素子間の順次伝播を示す図。

【図7】順次伝播における結像関係を示す図。

【図8】本発明の一実施例を示す図。

【図9】本発明の一実施例を示す図。

【図10】本発明の一実施例を示す図。

【図11】本発明の一実施例を示す図。

【図12】プリズムアレイの製造方法を示す図。

【図13】ダイクロイックプリズムによる順次伝搬を示す図。

【図14】ダイクロイックプリズムアレイの製造方法を示す図。

【図15】ダイクロイックプリズムアレイの一括製造方法を示す図。

【図16】偏光ビームスプリッタプリズムによる順次伝搬を示す図。

【図17】受動素子のアライメントを示す図。

【図18】受動素子のアライメントに溝による方法を示す図。

【図19】受動素子と能動素子とのアライメント方法を示す図。

【図20】受動素子と能動素子とのアライメント方法を示す図。

【図21】受動素子と能動素子とのアライメント方法を示す図。

【図22】従来技術を示す図示す図。

【図23】従来技術を示す図示す図。

【図24】従来技術を示す図示す図。

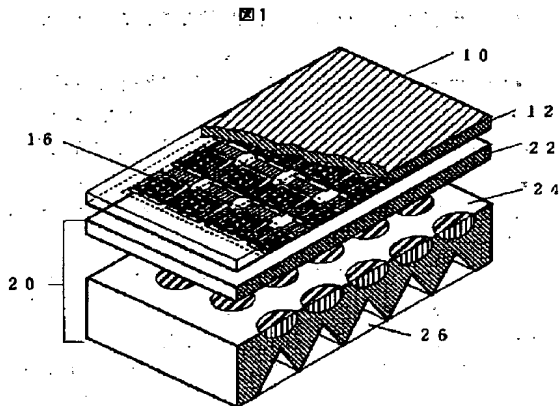
【符号の説明】

10…2次元能動素子群、12…基板、16…半導体レーザアレイ、フォトダイオードアレイ、空間光変調素子アレイ駆動回路等、20…受動素子（結像、分波・合波等の機能を持った光学素子）、24…結像手段、26…再帰反射手段、30、35…レンズ、50、80…プリズム、60…入射実像、70…出力虚像、90…入射実像、100…出力実像、100、120…レンズ、150、160…レンズ、130、140…平面鏡、170…入力像、180…出力像、260、270、280…レンズ、230、240、250…プリズム、233、243、253…プリズム左側面、236、246、256…プリズム右側面、260、270、280…レンズ、290…入力面、300…第1射出面、310…第

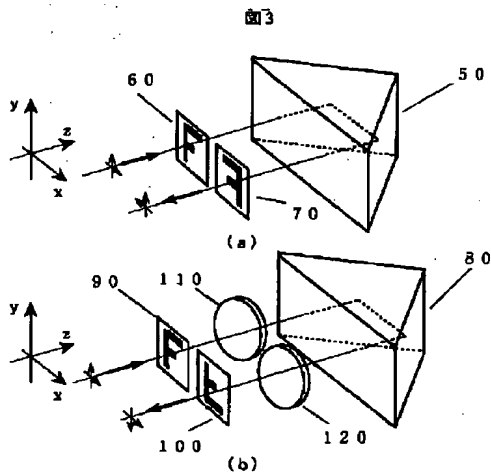
17

2射出面、320、335…入力像、325、340…第1射出面上の像、330、345…第2射出面上の像、360…能動素子群（面上に面発光レーザ、空間光変調素子、フォトディテクタ、駆動回路、演算回路等）、スペーサ…370、380…受動素子群、382、384、386、388、390…凸形状レンズ、392、394、396、398、400…プリズム、410…受動素子、412、414、416、418、420…高屈折率物質充填レンズ、430…固定部材、432、434、436、438、440…ロッドフレネルレンズ、462、464、466、468、470…フレネルレンズ、472…プリズムアレイ、473、474、475、476、477…プリズム、480、

【図1】



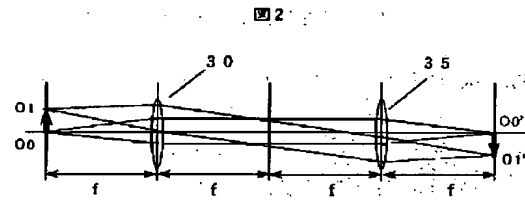
【図3】



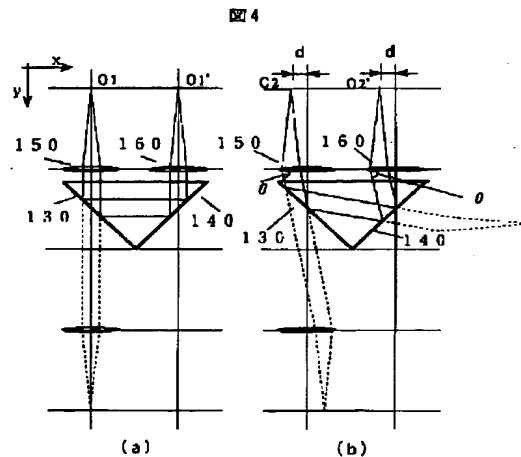
18

490、500…レンズ、510、520、530…ダイクロイックプリズムアレイ、516、523、536、513、526、533…ダイクロイックプリズムの反射面、542、544、546、548…断面形状が直角三角形のプリズム、552、554、556、558…断面形状が正方形のブロック材、560…受動素子、565…直角のV字溝列と同形状の固定部、570、580、590…偏光ビームスプリッタプリズムアレイ、576、583、596…偏光ビームスプリッタプリズムアレイの反射面、600、610…受動素子、605、615…x軸方向に平行な側面、635…能動素子の基準側面、645…受動素子の基準側面、650、670…ストップ。

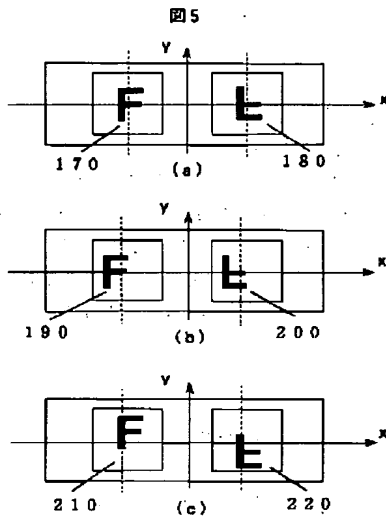
【図2】



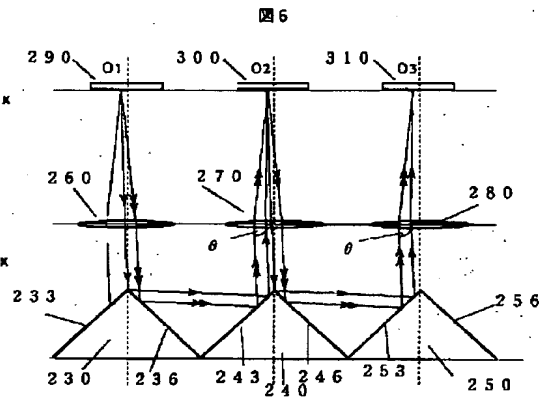
【図4】



【図5】

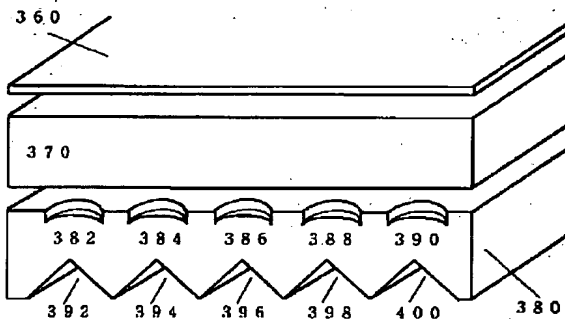
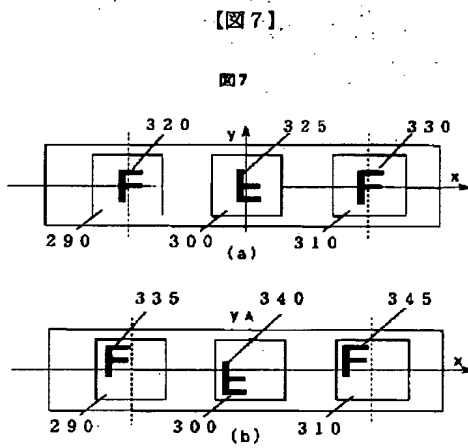


【図6】



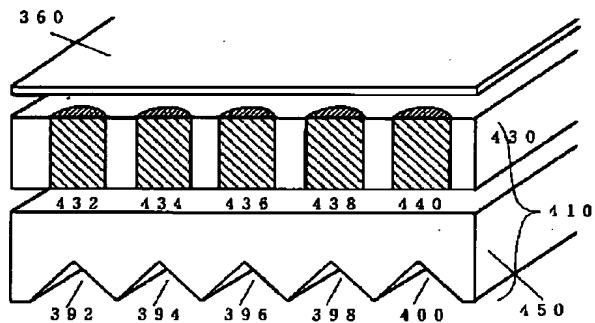
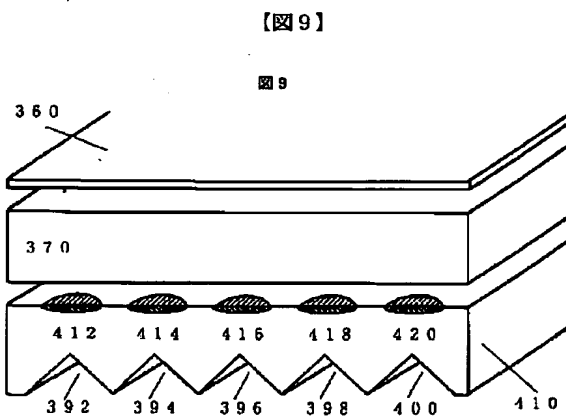
【図8】

図8



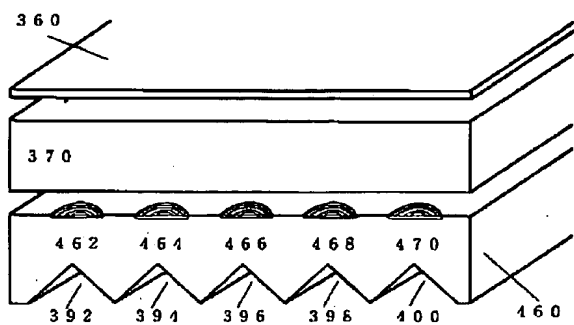
【図10】

図10



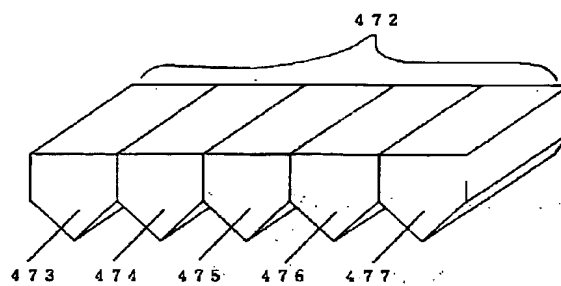
【図11】

図11



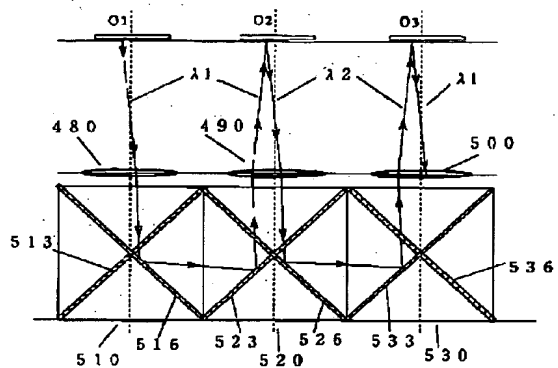
【図12】

図12



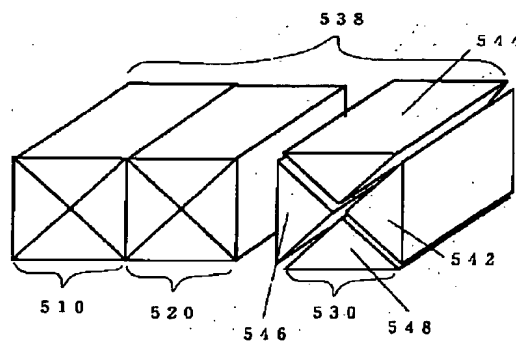
【図13】

図13



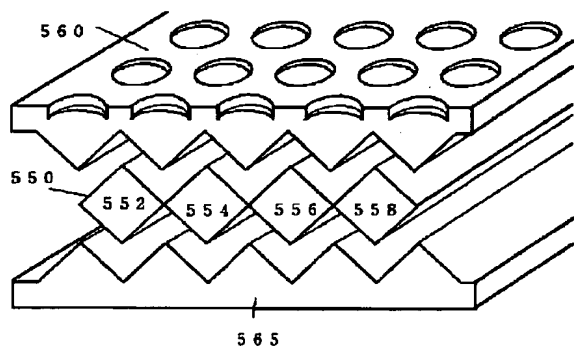
【図14】

図14



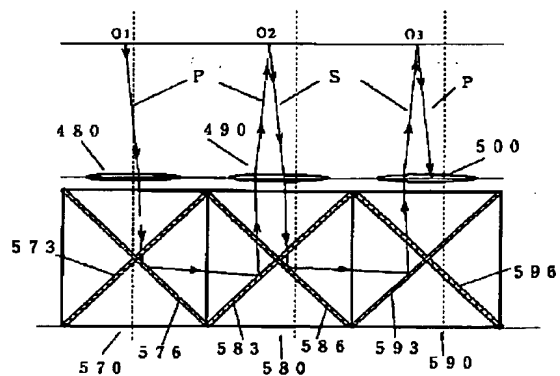
【図15】

図15



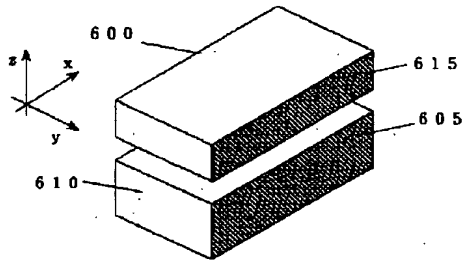
【図16】

図16



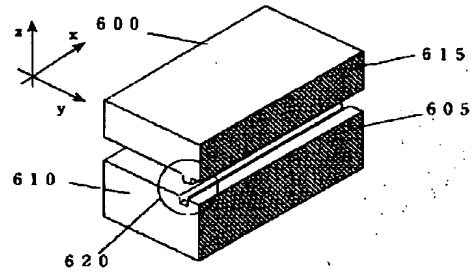
【図17】

図17



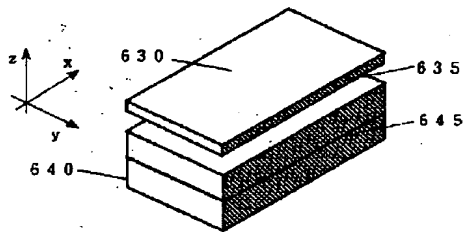
【図18】

図18



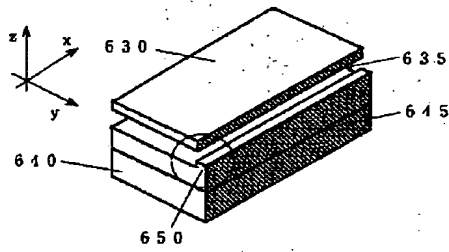
【図19】

図19



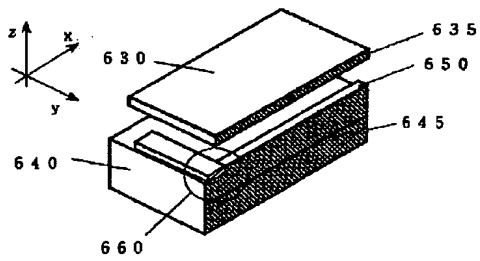
【図20】

図20



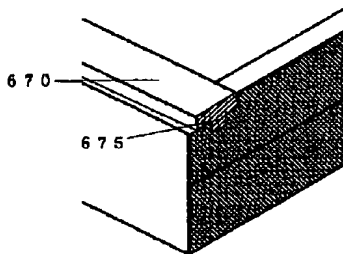
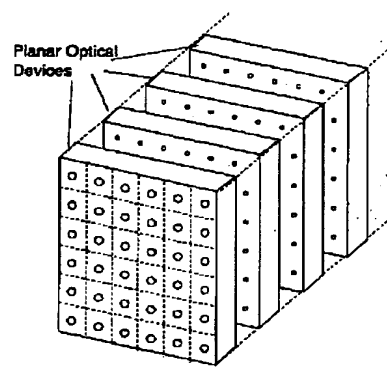
【図21】

図21

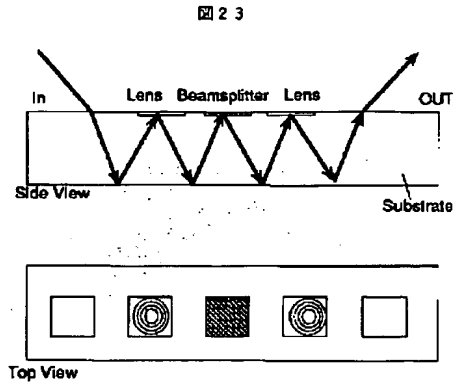


【図22】

図22



【図23】



【図24】

